



Situation : Les cristaux sont présents à l'état naturel dans les roches (ex : le quartz dans le granite), dans les êtres vivants (ex : coquille des escargots, squelette) et très utilisés en chimie, informatique, conception de matériaux ... On cherche donc ici à décrire l'organisation de la matière lorsqu'elle forme des cristaux.

Problème : Qu'est ce qu'un cristal ? Comment sont structurés les cristaux ?

PARTIE 1 – L'organisation des cristaux de sel.

La halite est une roche qui se forme par l'évaporation de l'eau de mer. On l'appelle aussi sel gemme. Elle est formée de nombreux cristaux de chlorure de sodium (= cristaux de sel)

- 1- Observez la photographie de l'échantillon de Halite **et émettez une hypothèse concernant la forme des cristaux de chlorure de sodium.**
- 2- **Réalisez l'expérience permettant de former des cristaux de sel.** (Protocole n°1)
- 3- **Observez vos cristaux au microscope et confirmez ou infirmez votre hypothèse.**
- 4- **Prendre une photographie de vos cristaux :**
 - Ouvrir le logiciel Caméra Jeulin (Bureau > Logiciel > Utilitaire > Caméra Jeulin)
 - Refaire la mise au point. Cliquer sur « Autoéquilibre des blancs si la couleur est étrange)
 - Ouvrir le logiciel « Capture d'image » (Menu démarrer)
 - Sélectionner votre photographie
 - Collez la en 2 exemplaires dans le logiciel de traitement de texte de votre choix
 - Donnez lui un titre.
 - Appelez la professeure pour imprimer

Observez la structure élémentaire d'un cristal de chlorure de sodium à l'aide du logiciel MinUSc (Protocole n°2) et répondez aux questions suivantes

- 5- Quels sont les atomes ou ions constituant le cristal de chlorure de sodium ?
- 6- Quelle est la forme de la maille du chlorure de sodium ? (Document 1)
- 7- Quel est le réseau cristallin formé par les ions Na^+ ?
- 8- Où sont situés les ions Cl^- ?
- 9- **Représentez une maille élémentaire du cristal de chlorure de sodium en perspective cavalière, avec des arrêtes de longueur $a = 6\text{cm}$, un angle de fuite $\alpha = 60^\circ$ et un coefficient de fuite $k = 0.5$** (Document 2)
Appelez la professeure pour vérification
- 10- Justifiez l'affirmation de l'abbé René Juste Haüy à partir de vos observations. (Document 3)
- 11- Comment appelle-t-on aujourd'hui les « briques de matière élémentaires » ou « molécules constituantes » imaginées par l'abbé Haüy ?

PARTIE 2 – Les propriétés des cristaux de sel.

Sachant que :

- Le rayon d'un ion Sodium (r_{Na^+}) = 0.099 nm
- La masse molaire d'un ion Na^+ (M_{Na^+}) = 22.9 g/mol
- La longueur de l'arête de la maille $a = 5,6 \times 10^{-9}$ m
- Le rayon d'un ion Chlorure (r_{Cl^-}) = 0.181 nm
- La masse molaire d'un ion Cl^- (M_{Cl^-}) = 35.5 g/mol

- 12- Déterminez le nombre d'atome (=multiplicité) par maille du cristal de NaCl (Document 4)
- 13- Déterminez la masse volumique d'un cristal de NaCl
- 14- Déterminez la compacité d'un cristal de NaCl.

PROTOCOLE N°1 : Fabrication et observation de cristaux de sel.

Afin de former des cristaux de sel :

- Faire bouillir 30 mL d'eau chaude
- Dissoudre 15 grammes de gros sel dans l'eau : il doit rester du sel qui ne se dissout pas : la solution est alors **sursaturée** : en refroidissant et en s'évaporant, le sel cristallisera.

Pour observer ces cristaux :

- Sortir le becher de la plaque chauffante avec le gant. (Pensez à éteindre la plaque)
- Prélever instantanément une goutte de liquide que vous poserez sur une lame de microscope (Sans lamelle)
- Observer au microscope.

PROTOCOLE N°2 : Observer la structure d'un cristal avec MinUSc

- Allez sur la page : <http://www.librairiedemolecules.education.fr/outils/minusc/>
- Cliquez sur « Démarrer MinUSc »
- Choisir le fichier Halite
- Réglez les paramètres suivants :
 - o Afficher atomes : sphères 20%
 - o Afficher liaisons : Fil de Fer
 - o Afficher polyèdres : Effacer
- Observez tout d'abord une seule maille (voir document 1) en réglant $a=1$ $b=1$ $c=1$
- Ajoutez des mailles en faisant varier a , b et/ou c afin de modéliser la croissance d'un cristal de chlorure de sodium.

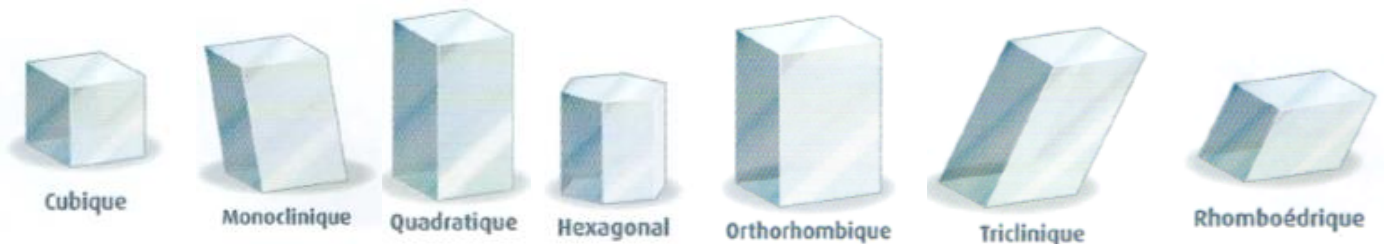
DOCUMENT 1 – La structure microscopique d'un cristal : notion de maille.

A l'échelle microscopique, les cristaux sont formés d'un **empilement d'entités chimiques** (ions, atomes, molécules) qui forment **des polyèdres géométriques** (cube, parallélépipède rectangle, prisme hexagonal ...)

Le plus petit polyèdre permettant de décrire l'assemblage des entités chimiques et se répétant dans le cristal est appelé **la maille élémentaire**

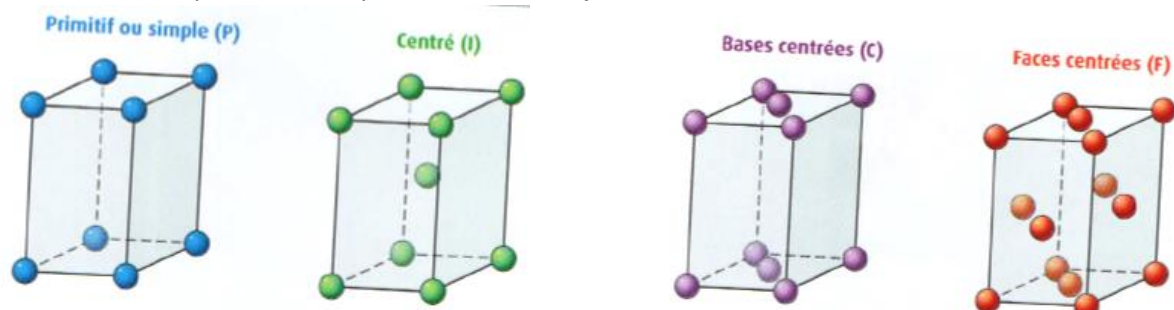
Ces mailles élémentaires s'assemblent pour former le cristal.

Il y a 7 formes de mailles existantes :



On décrit la maille d'un cristal par sa forme, mais également par la disposition des entités chimiques au sein de la maille, que l'on appelle **le réseau cristallin** :

- S'il n'y a des atomes que sur les arêtes et les coins, la maille est dite **simple**
- S'il y a en plus un atome au centre de la maille, la maille est dite **centrée**
- S'il y a des atomes sur les centres des bases, la maille est dite **à bases centrées**
- S'il y a des atomes sur les centres de toutes les faces ; la maille est dite **à faces centrées**
- Une maille peut cumuler plusieurs de ces adjectifs



DOCUMENT 2 – La perspective cavalière

La perspective cavalière est un mode de représentation d'un objet en 3D, sur un dessin en 2D.

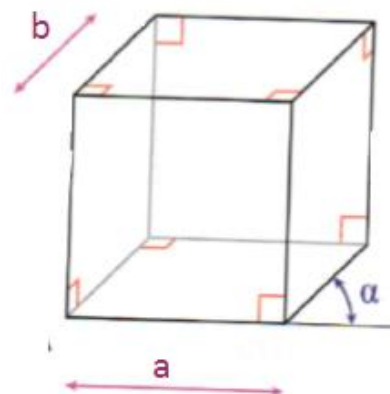
Un dessin en perspective cavalière est formé d'un **plan frontal** (que l'on voit de face) et de **fuyantes** (lignes perpendiculaires au plan frontal)

Pour représenter un polyèdre en perspective cavalière, le dessinateur doit :

- Choisir (**a**) la longueur des arêtes du plan frontal
- Choisir (**α**) l'angle de fuite
- Choisir (**k**) le coefficient de perspective,
- Calculer (**b**), la longueur des arêtes sur les fuyantes car $k = b/a$

A partir de là, il faut **tracer le plan frontal, puis les fuyantes, en respectant les valeurs de a, b et α**

Pour représenter une maille cristalline, il faut ensuite **placer les entités chimiques (atomes, ou ions) à la bonne place sur le polyèdre dessiné.**



DOCUMENT 3 – La théorie de l'Abbé René Juste Haüy



L'abbé René-Juste Haüy (1743 – 1822) est un minéralogiste français qui a participé à la création de la cristallographie (étude géométrique des cristaux).

En 1781, alors qu'il examine un cristal de calcite, celui-ci lui échappe des mains et viens se briser au sol. L'abbé Haüy observe alors que les morceaux ont conservé la même forme géométrique que le cristal de départ, et ce, indépendamment de leur taille.

Il émet alors l'hypothèse que la forme d'un cristal dépend de l'arrangement de briques de matière élémentaires, qu'il appelle « molécules constituantes » qui s'empilent et forment un cristal ayant, en plus grand, la même forme que chacune des « molécules constituantes ».

DOCUMENT 4 – Quelques paramètres des mailles et des cristaux

Nombre d'atome par maille = Multiplicité de la maille

La multiplicité Z d'une maille est égale au nombre total d'atomes par maille. Une maille est dite primitive si $Z=1$, sinon elle est dite multiple.

Exemple de calcul pour le cristal de Fer :

Dans ce cristal, un atome au sommet de la maille est partagé entre 8 mailles. Sa contribution à la maille est donc de $1/8^{\text{ème}}$ de maille. Or, dans la maille, il y a des atomes aux 8 sommets donc leur contribution totale est de $8 \times 1/8 = 1$.

L'atome au centre de la maille n'est partagé avec aucune maille et a donc une contribution de 1.

La multiplicité étant égale à la somme des contributions des atomes, on obtient donc :

$$Z = (8 \times 1/8) + (1 \times 1) = 2$$

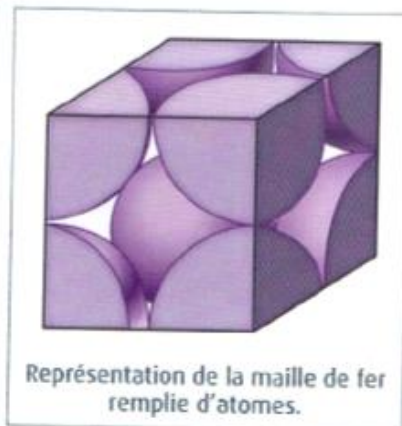
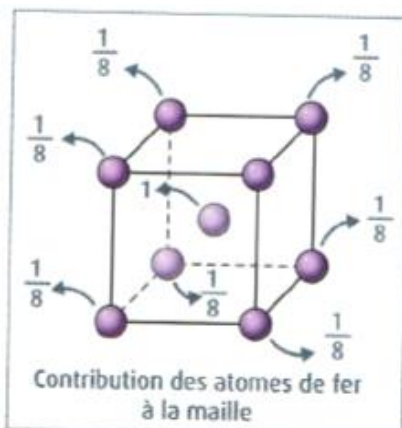
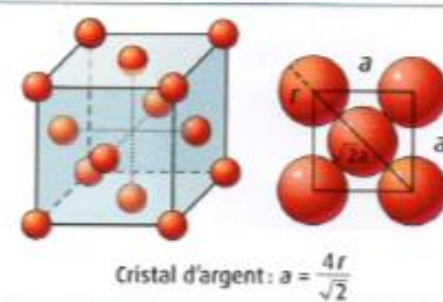
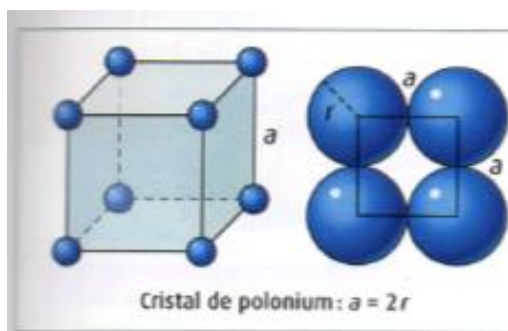


Tableau de contribution d'un atome à la maille en fonction de sa position		
Place d'un atome dans la maille	Nombre de mailles qui se partagent l'atome	Contribution de l'atome à la maille
Centre		1
Face		$1/2$
Arête		$1/4$
Sommet		$1/8$

Masse volumique et compacité d'un cristal.



DOC 3 Longueur des arêtes des mailles pour les cristaux de polonium et d'argent. En considérant que les atomes ont une forme sphérique et sont tangents, on peut exprimer la longueur a d'une arête d'une maille en fonction du rayon r des atomes.

MASSE VOLUMIQUE

La masse volumique ρ d'un cristal s'exprime en $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$.

$$\rho = \frac{m_{\text{maille}}}{V_{\text{maille}}}$$

La maille étant cubique, $V_{\text{maille}} = a^3$

Avec a = longueur de l'arête de la maille en cm

Par ailleurs, $m_{\text{maille}} = Z \times m_{\text{atome}} = Z \times \frac{M_{\text{atome}}}{N}$

Avec : N = Nombre d'Avogadro = $6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

M_{atome} = masse molaire de l'atome en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Donc :

$$\rho = \frac{Z \times \frac{M_{\text{atome}}}{N}}{a^3}$$

COMPACITÉ

La compacité C mesure l'occupation du volume de la maille par les atomes. C'est un nombre sans dimension, compris entre 0 et 1.

$$C = \frac{V_{\text{atomes}}}{V_{\text{maille}}}$$

Les atomes étant sphériques, $V_{\text{atome}} = \frac{4}{3} \pi r^3$

Avec r = rayon d'un atome en cm

Donc :

$$C = \frac{Z \times \frac{4}{3} \pi r^3}{a^3}$$